

13.5 nm 파장에서 경사 입사 TiO₂ 박막의 광학 상수 결정

강희영, 장대호, 박용준, 이장훈, 황보창권

인하대학교 물리학과

hwangbo@inha.ac.kr

일반적으로 TiO₂ 박막은 Ru 박막에 비해 화학적으로 산소와 반응이 적고, 산소와 탄소의 확산을 막아 주며 좋은 광촉매이기 때문에 최근 극자외선 리소그래피 반사형 위상 반전 마스크 구조에서 보호막으로 연구되고 있다.⁽¹⁾ 그러나 극자외선 영역($\lambda=13.5$ nm)에서 TiO₂는 Ru에 비해 굴절률은 높으나 소멸계수가 크므로 2 nm 이하의 두께로 설계에 적용해야만 빛의 흡수를 감소시켜 높은 반사율을 얻을 수 있다. 그러므로 소멸계수를 인위적으로 줄여 두꺼운 박막으로도 설계에 적용될 수 있도록 TiO₂를 다공성으로 제작하여 원자 밀도를 줄이는 방법을 고안하였다.

본 연구에서는 다공성 TiO₂ 제작을 위하여 전자 빔 증착장비를 이용하여 경사 입사 증착법(GLAD)⁽²⁾을 사용한 TiO₂ 박막을 Si 웨이퍼 위에 제작하였고, 이를 러더퍼드 후방산란 분석법과 X-선 반사율 측정 장비를 사용하여 13.5 nm에서의 광학상수(n, k)를 결정하였다. 이는 러더퍼드 후방산란 분석법(RBS)으로 샘플의 areal density를 X-선 반사율 측정 장치(XRR)에서는 박막의 두께를 측정함으로써 각 샘플 박막의 원자 밀도가 결정되고, 이와 함께 파장에 의존하는 물질 원소의 scattering form factor를 이용하면 광학상수를 계산할 수 있으므로 가능하다.^{(3),(4)}

그림 1은 TiO₂를 ① 0도 입사 증착할 경우와 ② 60도 경사 입사하여 나선형으로 회전시키며 증착할 경우, 그리고 ③ 60도 경사 입사로 증착할 경우에 러더퍼드 후방산란 분광기의 스펙트럼이다. TiO₂의 RBS 측정에는 2MeV 4He⁺으로 입사각도 0°, 탐지각도(Θ) 10°, 그리고 10 μ C의 조사량을 가지고 이루어졌다.

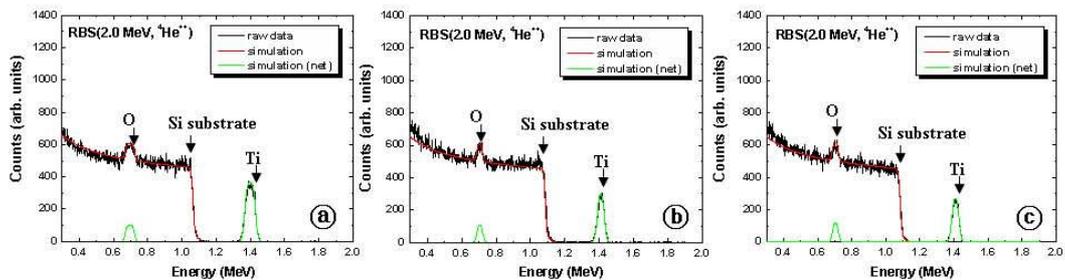


그림 1. 경사 입사 증착법을 이용한 TiO₂ 박막 (① 0도 입사 ② 60도 나선형 입사 ③ 60도 경사 입사 증착)의 러더퍼드 후방산란 스펙트럼

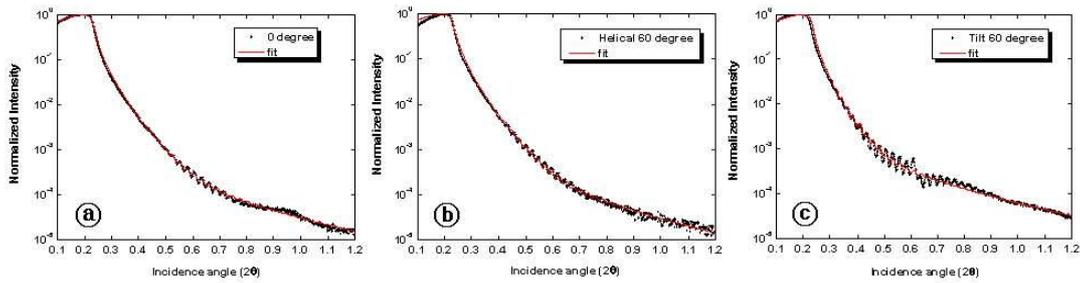


그림 2. 경사 입사 증착법을 이용한 TiO₂ 박막(a) 0도 입사 (b) 60도 나선형 입사 (c) 60도 경사 입사 증착)의 X-선 반사율

그림 2는 각각의 경사 입사 증착법으로 증착한 TiO₂ 박막의 두께 결정을 위하여 측정된 X-선 반사율 그래프이다. 이 때 CuK_α(λ=0.154 nm) 광원을 이용하여 40V, 20mA의 가속 전압과 전류 조건으로 측정하였고, WINGIXA 프로그램을 사용하여 두께를 결정하였다. 두 측정 결과로부터 TiO₂ 박막의 전체 원자 밀도를 결정하고, 13.5 nm 에서의 Ti와 O의 scattering form factor를 이용하여 표 1과 같이 광학상수를 결정하였다.

그 결과 TiO₂를 60도 나선형과 경사 입사 증착한 두 샘플 박막의 원자밀도는 0도 입사 증착한 샘플 박막의 원자 밀도 보다 매우 작음을 보였고, 13.5 nm에서의 60도 나선형 또는 경사 입사 증착의 굴절률은 0도 입사 증착할 경우 보다 커졌고 소멸계수는 매우 작아졌다. 이는 경사 입사 TiO₂가 증착 시 그림자 효과 때문에 다공성인 박막으로 증착되기 때문이다. 위 결과로부터 증착 조건에 따라 TiO₂ 박막의 광학상수를 임의로 조절할 수 있음을 확인하였다. 이를 이용하면 극자외선에서 사용하는 다층 박막 설계 시 원하는 위상과 반사율을 가지도록 알맞은 광학상수를 조절할 수 있으므로 극자외선 리소그래피 위상 반전 마스크 제작에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 13.5 nm 파장에서 TiO₂ 각 샘플에 대한 광학상수 (n, k)

Sample	Thickness [Å]	Density [g/cm ³]	n=1-δ	k=β
0도	1439±43	3.62±2.7%	0.9503491 ±0.001411	0.0191455 ±0.0005623
60도 나선형	1503±15	2.37±0.8%	0.9671725 ±0.000309	0.0127472 ±0.0001322
60도 경사	1529±15	2.45±0.8%	0.9663481 ±0.000306	0.0129851 ±0.0001310
Bulk	-	4.26	0.9415994	0.0224958

[참고문헌]

1. Sergiy Yulin, Nicolas Benoit, Torsten Feigl and Norbert Kaiser, "Mo/Si multilayers capped by TiO₂," EUVL Symposium (2006)
2. S-H. Woo and C. K. Hwangbo, "Optical Anisotropy of Microstructure-Controlled TiO₂ Films Fabricated by Glancing-Angle Deposition (GLAD)," JKPS 48, 1199-1204 (2006)
3. The Atomic Scattering Factor Files, http://www.cxro.lbl.gov/optical_constants/
4. S-I. Han, E. Weisbrod, J. R. Wasson, R. Gregory, Qianhua Xie, P. J. S. Mangat, S. D. Hector and W. J. Dauksher, "Development of Phase Shift Masks for Extreme Ultra Violet Lithography and Optical Evaluation of Phase Shift Materials," Proc. SPIE 5374, 261-270 (2004)